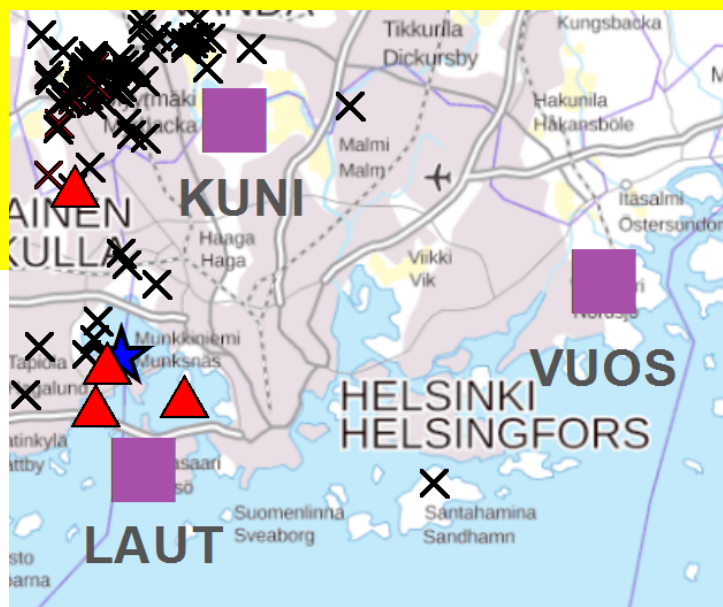


**TUIJA LUHTA, PÄIVI MÄNTYNIEMI, TOMMI VUORINEN,
PASI LINDBLOM, PIRITA SEIPÄJÄRVI, KATI OINONEN,
JARI KORTSTRÖM JA TIMO TIIRA**

HELSINGIN SEISMINEN ASEMAVERKKKO JA SEISMISYYS 2019



Kansi: Helsingin alueen suunniteltu asemaverkko ja vuonna 2019 havaittu seismisyys. Helsinkiin suunniteltu seisminen asemaverkko (violetit neliöt), indusoitu maanjäristys (sininen tähti) ja räjäytyksiä (rastit). Punaiset kolmiot ovat tilapäisen asemaverkon asemia.

Cover: Planned Helsinki area network and seismicity observed there in area 2019. Planned stations (violet squares), induced earthquake (blue star), and explosions (crosses). Red triangles are temporary seismic stations.

Seismologian instituutin raportti T-101

Päätoimittaja Timo Tiira

Julkaisija Seismologian instituutti
PL 68 (Pietari Kalmin katu 5)
00014 Helsingin yliopisto

Puh. +358 2941 51600

www.helsinki.fi/geo/seismo

ISSN 0781-9579

ISBN 978-952-10-9599-3

<https://helda.helsinki.fi/handle/1018/164167>

Helsinki 2020

Seismologian instituutti
Helsingin yliopisto
Raportti T-101

HELSINGIN SEISMINEN ASEMAVERKKO JA SEISMISYYS 2019

TUIJA LUHTA, PÄIVI MÄNTYNIEMI, TOMMI VUORINEN,
PASI LINDBLOM, PIRITA SEIPÄJÄRVI, KATI OINONEN,
JARI KORTSTRÖM JA TIMO TIIRA

Seismologian instituutti
Geotieteiden ja maantieteen osasto
Helsingin yliopisto
Helsinki, Suomi

Esipuhe

Maalämmöllä on Hiilineutraali Helsinki 2035 -ohjelman mukaan tarkoitus tyydyttää Helsingin lämmitystarpeesta 15 % vuodesta 2035 alkaen. Tilanne maalämmön hyödyntämisen osalta on erittäin haastava, koska vuoden 2019 lopussa maalämmön osuus Helsingin lämmitysenergiasta oli vain noin 1 %.

Helsingin kaupungin Maa- ja vesilämpötyöryhmän raportti vuonna 2010 ”Lainsäädäntöön, lupakäytäntöön, kaavoitukseen ja tontinluovutukseen ehdotettavat muutokset”, Ympäristöministeriön ympäristöopas vuonna 2013 ”Energiakaivo – Maalämmön hyödyntäminen pientaloissa”, Seismologian instituutin raportti vuonna 2019 ”Selvitys geotermisen energian syväreikäporaamisesta, siihen liittyvistä ympäristönäkökohdista sekä riskienhallinnasta” sekä Helsingin kaupungin kaupunkiympäristön julkaisu vuonna 2020 ”Maalämpötyöryhmän ehdotus – Maalämpökaivot Helsingissä” ovat tulleet tarpeeseen, mutta niiden lisäksi tarvitaan vielä uusia avauksia maalämmön hyödyntämisen edistämiseen ja hallintaan.

Geotermisen lämpö on yksi vaihtoehto maalämmön hyödyntämisen lisäämiseksi. Geotermisen lämpö tuotetaan EGS-lämpölaitoksessa poraamalla peruskallioon kaksi syvää energiakaivoa, joiden välille saatetaan aikaiseksi vesikierto säröytyksen eli hydraulisen murtamisen avulla. Särötys aiheuttaa kallioperän jännityskentän muutoksen joka aiheuttaa yleensä seismistä aktiivisuutta. Espoon Otaniemessä suoritettiin kesällä 2018 St1-geolämpöprojektissa ensimmäisen noin kuusi kilometriä syvän energiakaivon särötys, jonka seurauksena tärinää ja ääniä havaittiin Espoon lisäksi laajoilla alueilla Helsingissä. Suurimmat Seismologian instituutin havaitsemat säröytyksen aiheuttamat maanjäristykset olivat ML1,8.

Geotermisen lämmöntuotannon seurauksia varten on tarpeen saada Helsinkiin oma seisminen asemaverkko, jonka avulla voidaan paikallistaa sekä ihmisen aiheuttamat että luonnolliset maanjäristykset. Seismisen asemaverkon avulla voidaan paikallistaa myös erilaisten räjäytysten ja vastaavien tärinälähteiden sijainnit ja voimakkuudet ja näin auttaa viranomaisia varmistamaan tärinätasojen turvallisuus sekä vastaamaan suuren yleisön tärinöitä ja outoja ääniä koskeviin kysymyksiin.

Helsingin seismisyystaso on ollut toistaiseksi matala. Ympäristöministeriön asetuksen mukaan Suomessa maanjäristysmitoitusta koskevaa standardia SFS-EN 1990 sovelletaan vain tilaajan niin edellyttäessä. Korkeiden rakennusten yleistymisen ja ihmisen aikaansaamat maanjäristykset antavat aiheen harkita maanjäristysmitoituksen tarve korkeiden rakennusten osalta uudestaan. Lisäksi geotermisten EGS-lämpölaitosten lupa-asiat olisi syytä siirtää valtion lupaviranomaisten vastuulle, koska ko. lämpölaitosten ympäristövaikutukset ulottuvat jopa 10 kilometrin päähän itse laitoksesta.

Helsingissä helmikuussa 2020

Ilkka Vähäaho

Maa- ja kallioperäyksikön päällikkö

Helsingin kaupungin kaupunkiympäristö

Tiivistelmä

Helsinkiin on vuoden 2019 aikana suunniteltu kolmen aseman seismistä verkkoa, HelsinkiNet:iä, joka täydentää Suomen kansallista seimistä verkkoa Helsingissä ja sen lähialueilla. HelsinkiNet:in havaintojen avulla alueelta voidaan havaita pienempiä seismisiä tapauksia kuin aiemmin ja tapaukset voidaan paikantaa tarkemmin.

Verkon suunnitelluilla asemapaikoilla on suoritettu testimittauksia syksyllä 2019. Verkko rakennetaan valmiiksi vuonna 2020. Helsingin Yliopiston Seismologian instituutti kerää asemien rekisteröimän aineiston ja paikantaa alueen tapaukset automaattisesti. Instituutti analysoi manuaalisesti maanjäristykset tai muuten merkittävät tapaukset ja tiedottaa niistä tarvittaessa Helsingin kaupungille.

Vuonna 2019 Seismologian instituutti on analysoinut Helsingistä ja sen lähialueilta yhden maanjäristyksen, yhden indusoidun maanjäristyksen sekä 299 räjäytystä. Maanjäristys (ML0.9, 59.952°N, 24.967 °E) tapahtui 9.7.2019 merellä, lähellä Helsingin majakkaa. Indusoitu järistys (ML0.6, 60.191°N, 24.841 °E) tapahtui 9.5.2019 liittyen ST1:n geotermisen energian voimalaitoksen rakentamiseen.

Liitteessä 1 kerrotaan Helsingin ja sen lähialueiden seismisyydestä ja kaupungissa vuoden 1829 jälkeen havaituista maanjäristyksistä.

Abstract

A three-station seismic network, HelsinkiNet, has been planned to Helsinki during 2019. The network will complement the Finnish National Seismic Network in the Helsinki region, lowering the detection threshold and improving location accuracy of seismic events.

During autumn 2019 test measurements were conducted at the planned station locations. The network will be built during 2020. Institute of Seismology of the University of Helsinki (ISUH) will gather data from the stations, and perform automatic event detection. ISUH will analyse earthquakes and other significant events manually, and inform Helsinki City when necessary.

In 2019 ISUH has analysed one earthquake, one induced earthquake, and 299 explosions from the Helsinki area. The earthquake (ML0.9, 59.952°N, 24.967 °E) occurred on 9th July under the sea, near Helsinki lighthouse. The induced earthquake (ML0,6, 60.191°N, 24.841 °E) occurred on 9th May in Otaniemi, probably due to ST1 geothermal plant construction.

In appendix 1 (Liite1) seismicity in Helsinki, and earthquake observations by residents there since 1829 are described.

Sisältö

1. Johdanto.....	1
2. Asemaverkon suunnittelu.....	1
3. Testimittaukset ja niiden tulokset.....	1
4. Rakennusvaihe ja verkon käyttöönotto 2020.....	9
5. Seismiset havainnot Seismologian instituutin asemaverkolla vuonna 2019.....	10
Lähteet.....	12
Liitteet.....	13
Liite 1. Pääkaupunkiseudun seismisyydestä ja maanjäristysten havaitsemisesta siellä.....	13
Liite 2. Vuoden 2019 seismisten tapausten analyysi.....	20
Liite 2.1 Suomenlahden 9.7.2019 järistyksen paikannustulos Nordic-formaatissa.....	20
Liite 2.2 Otaniemen indusoidun 9.5.2019 järistyksen paikannustulos Nordic-formaatissa.....	20

1. Johdanto

Kesän 2019 aikana Helsingin kaupungin ja Helsingin yliopiston Seismologian Instituutti sopivat, että Helsinkiin rakennetaan kolmen seismisen aseman verkko, HelsinkiNet. Verkon avulla voidaan alentaa seismisten tapausten detektiokynnystä sekä parantaa paikannusta ja tapausten luokittelua Helsingin kaupungin alueella. Verkkoa suunniteltiin karttojen ja maastokäyntien perusteella. Asemia varten tilattiin sopivat mittauslaitteet. Suunnitelluilla asemapaikoilla suoritettiin testimittauksia.

Helsingin kaupungin ja Seismologian Instituutin välinen sopimus HelsinkiNetin asennuksesta ja ylläpidosta allekirjoitettiin elokuussa 2019. Sopimuksen mukaiseen ylläpitoon kuuluu asemaverkon toimivuudesta huolehtimisen lisäksi mittausaineiston arkistointi ja analysointi sekä vuosittainen raportointi verkon toiminnasta ja seismisistä havainnoista Helsingin alueella. Suurista tai muuten merkittävistä seismisistä tapauksista raportoidaan erikseen heti, kun ne on analysoitu. HelsinkiNet:in asemilta kerätty aineisto on avoimesti saatavilla.

2. Asemaverkon suunnittelu

Asemaverkon suunnittelussa huomioitiin sekä mittausgeometria, että mittauslaitteiden vaatimat ympäristöolosuhteet.

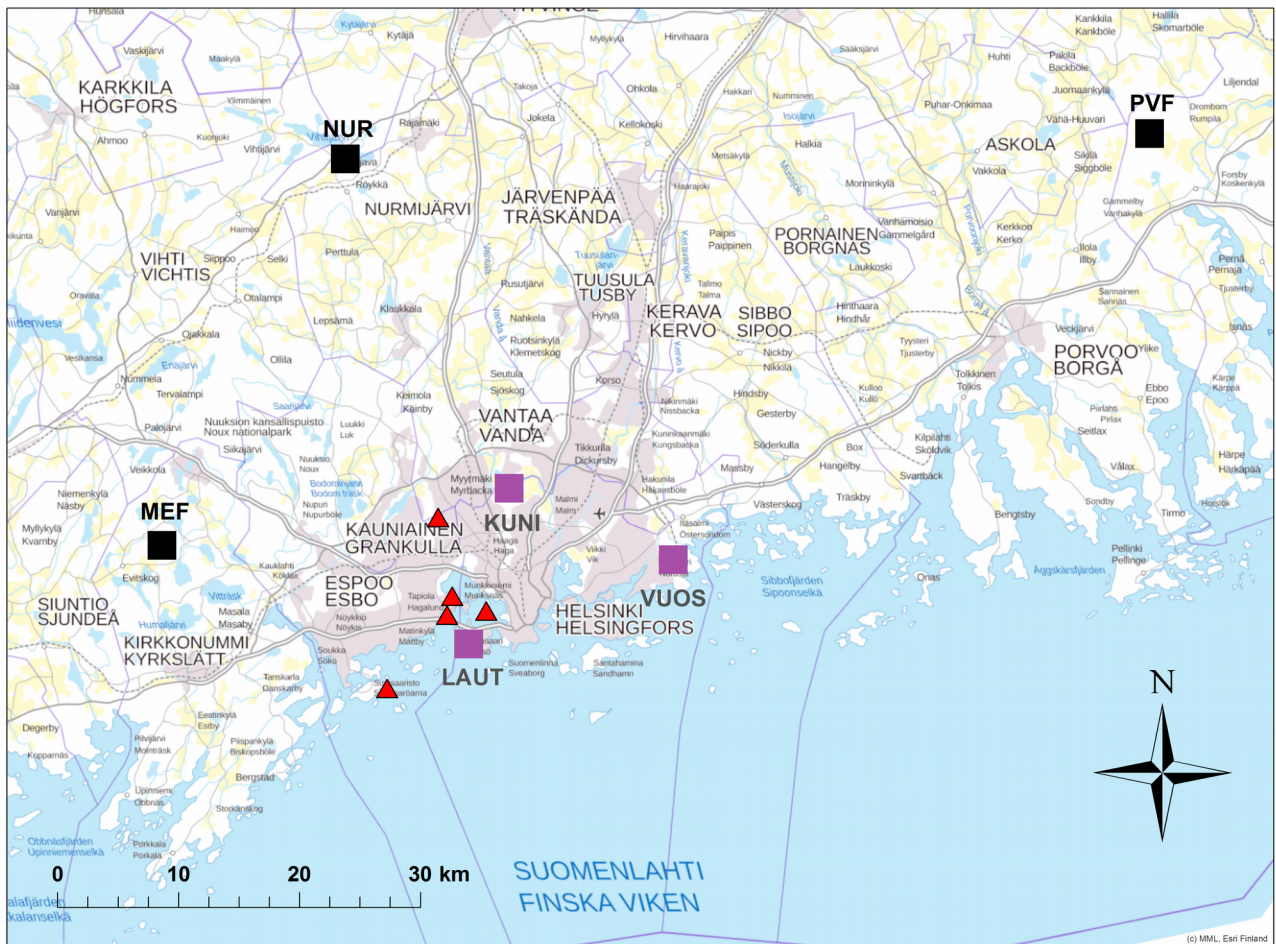
Seismiset tapaukset paikantuvat tarkimmin silloin, kun ne sattuvat havaintoverkon sisällä. Tästä syystä kolmen mittauslaitteen verkko pyrittiin saamaan isoksi kolmioksi, jonka kärjet ovat kaupungin itä-, pohjois- ja länsireunalla. Tapausten analysoinnissa tulevat olemaan apuna myös Seismologian instituutin kansallisen pysyvän verkon asemat, joista Helsinkiä lähimmät sijaitsevat Nurmijärvellä, Kirkkonummella ja Pernajassa (kuva 1). Seismologian instituutilla on ollut vuodesta 2016 Helsingin alueella myös viiden aseman tilapäinen tutkimusverkko, HEL-verkko, jonka tuottamaa aineistoa voidaan käyttää niin kauan kuin verkko on toiminnassa.

Seismometri tulee asentaa ensisijaisesti kallioon. Suomessa laadukasta mittausaineistoa saadaan yleensä jo pinta-asennuksilla, eikä mittauslaitteita tarvitse asentaa poranreikiin. Poranreikäasennukset ovat kalliimpia ja asemien huollon kannalta haastavampia. Muita ympäristövaatimuksia ovat mahdollisuus sähköliitäntään, 4G-tiedonsiirtoon sekä GPS-yhteys. Aseman olisi hyvä sijaita mahdollisimman etäällä häiriölähteistä kuten sähkölinjoista, isoimmista teistä tai suurista koneista. Kaupunkialueelta häiriöttömän asemapaikan löytäminen on luonnollisesti haastavaa.

Kartta- ja maastotiedustelujen perusteella asemille löydettiin alustavat paikat Lauttasaaresta, Keskuspuistosta ja Vuosaaresta (kuva 1). Vaihtoehtoja pohdittaessa esiin nousivat myös Helsingin lukuisat kallioluolat, mutta lopulta todettiin kalliolle tehtävä pinta-asennus sopivimmaksi vaihtoehdoksi.

3. Testimittaukset ja niiden tulokset

Kartta- ja maastotiedustelujen perusteella lupaavalta näyttävissä paikoissa tehtiin testimittaukset 17.10.-4.11.2019. Testimittauksen asemapaikat näkyvät Taulukossa 1.



Kuva 1: Helsingin seudun seismiset asemat. Violeteilla neliöillä on merkitty suunnitellut HelNet:in asemat LAUT (Lauttasaari), KUNI (Kuninkaantammi) ja VUOS (Vuosaari). Mustilla neliöillä on merkitty kansallisen seismisen verkon asemat MEF (Kirkkonummi), NUR (Nurmijärvi) ja PVF (Pernaja). Punaisilla kolmioilla on merkitty Helsingin väliaikaisen tutkimusverkon asemat HEL1-HEL5.

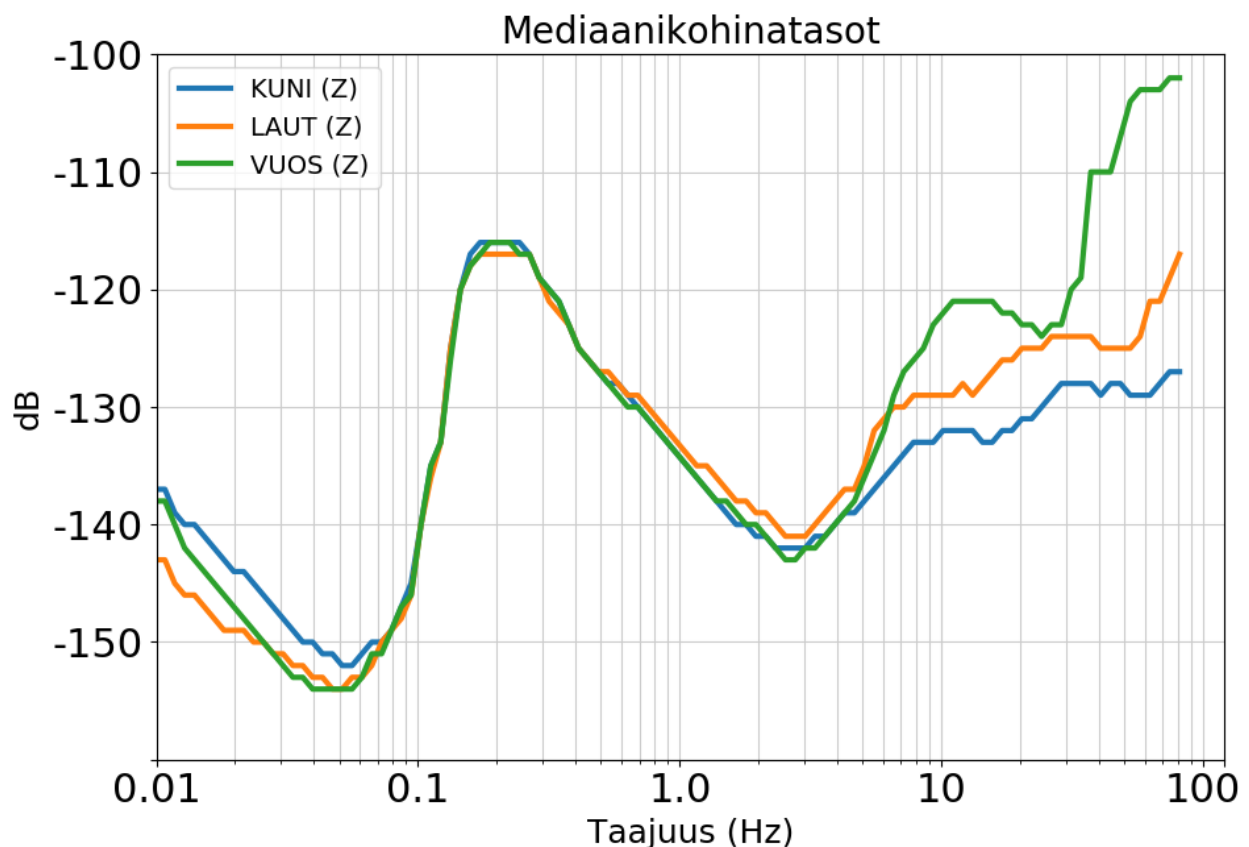
Figure 1: Helsinki area seismic stations. The planned HelNet stations are marked with violet squares: LAUT (Lauttasaari), KUNI (Kuninkaantammi), and VUOS (Vuosaari). Finnish national seismic network stations MEF (Kirkkonummi), NUR (Nurmijärvi), and PVF (Pernaja) are marked with black squares. Stations HEL1-HEL5, forming a temporary research network, are marked with red triangles.

Taulukko 1: Testimittauksen asemapaikat. Table 1: Locations of test measurement sites.

Asema	Leveysaste (°N)	Pituusaste (°E)
LAUT	60,15	24,86
KUNI	60,27	24,91
VUOS	60,22	25,16

Kullekin mittauspaikalle laskettiin taustakohinaspektrit. Kohinaspektrin avulla selvitetään mittauspaikan ympäristöstä peräisin oleva sekä ihmisen aiheuttama taustakohina. Ihmisen aiheuttamien häiriölähteiden lisäksi taustakohinaa voi aiheuttaa esimerkiksi rikkonainen kallio asennuspaikalla.

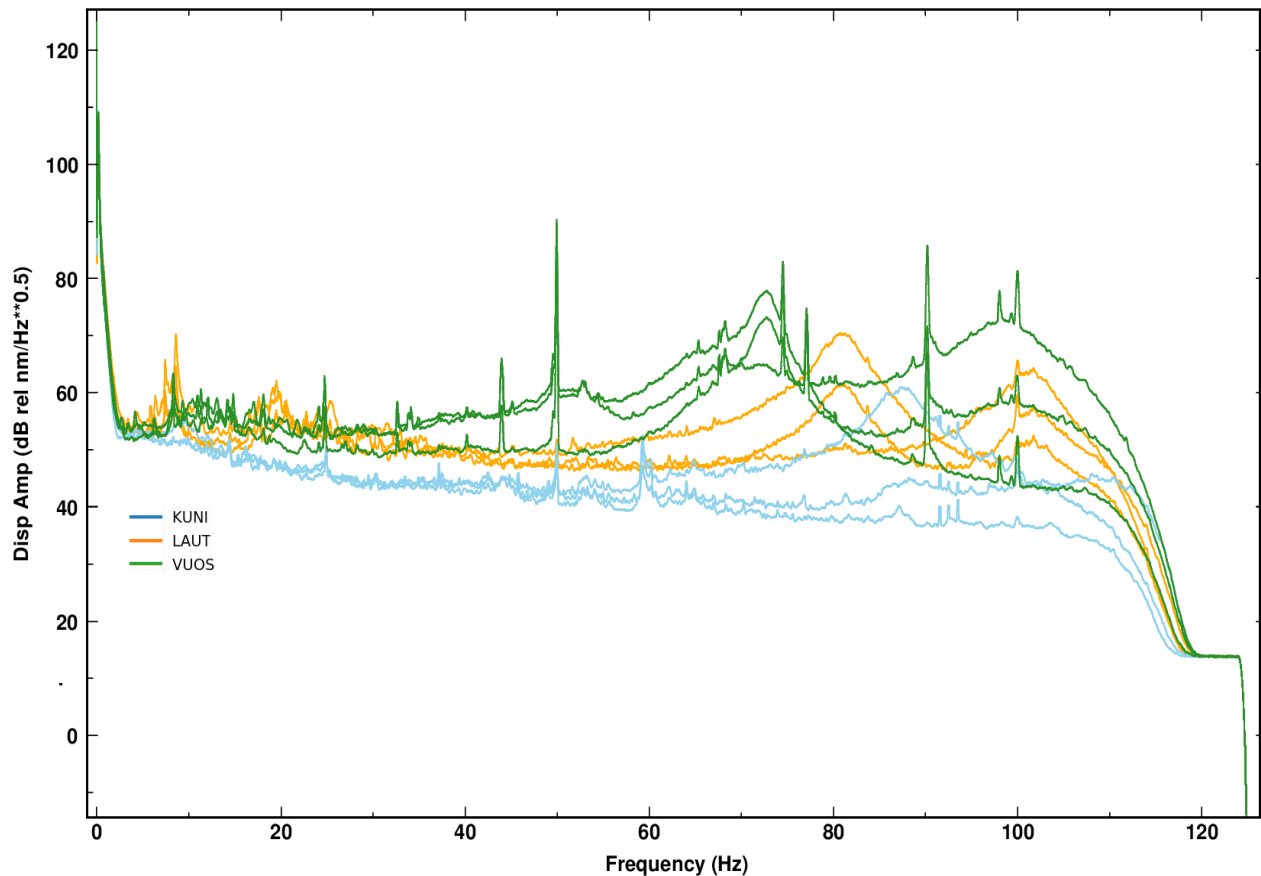
Kuvassa 2 näkyvät kolmelle testipaikalle lasketut signaalin tehosppektrit pystysuuntaiselle Z-komponentille. HelsinkiNetin asemien kohinatasoja arvioitaessa korkeat taajuuden (1 Hz ->) ovat tärkeitä, koska niiden avulla saadaan analysoitua tarkemmin myös pienet, paikalliset tapaukset. Kuninkaantammen ja Lauttasaaren asemapaikkojen kohinatasot ovat hyväksyttävällä tasolla, mutta Vuosaaressa on selvästi enemmän häiriöitä.



Kuva 2: HelsinkiNet asemien testipaikkojen 17.10.-4.11.2019 rekisteröinneistä lasketut tehosppektriin mediaanikäyrät. Käyrät kuvaavat asemilla keskimäärin mitattavaa taustakohinan signaalitasoa eri mittausperiodeilla (McNamara ja Buland, 2004).

Figure 2: The median power spectral densities (PSDs) calculated for the test measurement sites of the HelsinkiNet stations recorded 17.10.-4.11.2019. The graphs describe ambient noise level at each station (McNamara & Buland, 2004).

Kuvassa 3 näkyvät asemien kohinatasot sunnuntaina 26.10.2019. Sunnuntaisin ihmisen aiheuttamia häiriöitä on yleensä vähemmän kuin arkipäivinä. Kuvassa Vuosaaren testipaikka erottuu edelleen Lauttasaarta ja Kuninkaantammea häiriöisempänä.



Kuva 3: HelsinkiNet asemien testipaikkojen tehospektrit sunnuntaina 26.10.2019.

Figure 3: Power spectral densities for the test measurement sites of the HelsinkiNet stations on Sunday October 26th 2019.



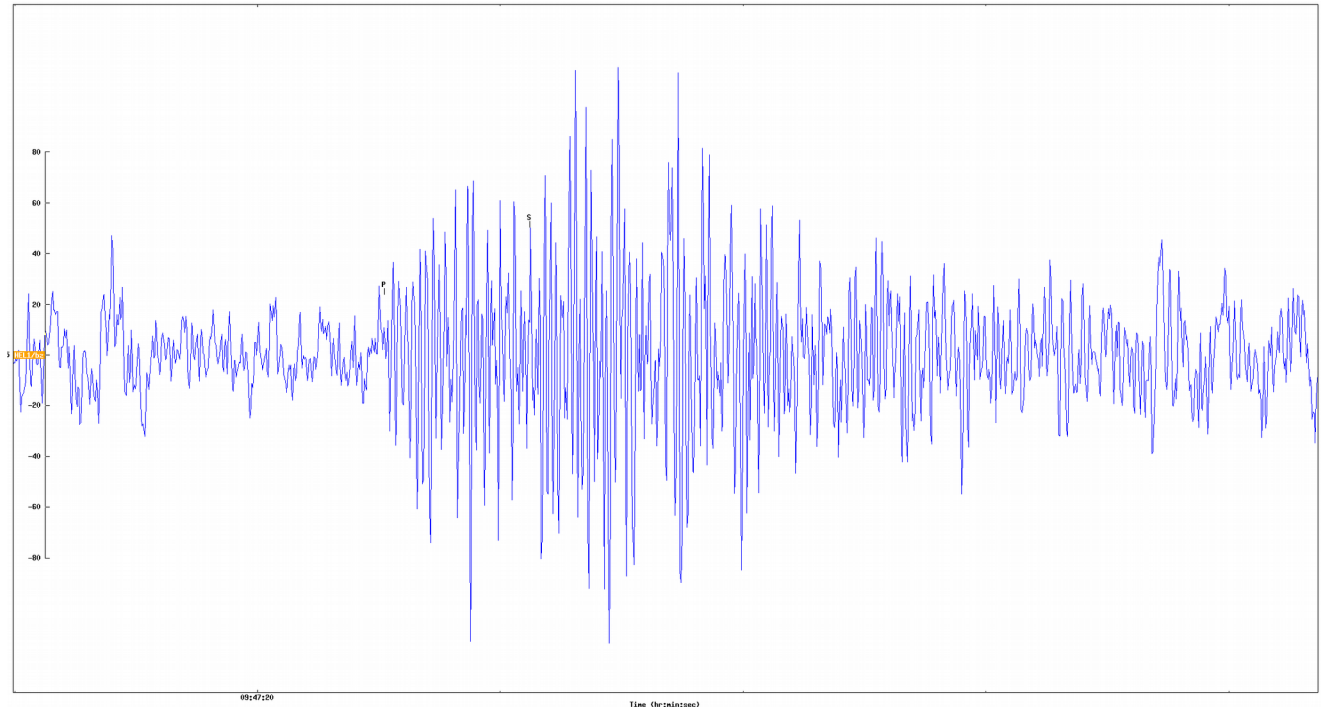
Kuva 4: Testimittaus Vuosaaren suunnitellulla asemapaikalla.

Figure 4: Test measurement site in Vuosaari.

Vuosaaren sähkölinjan aiheuttama häiriöpiikki 50 Hz taajuudella näkyy selvästi kuvassa 3. Vuosaaren testipaikka oli lähes linjan alla (kuva 4).

Kuninkaantammen asema on noin 400 metrin päässä sähkölinjasta, ja sen tehospektrissä näkyy myös piikki, mutta piikki on huomattavasti pienempi kuin Vuosaarella.

Kohinapektrien lisäksi asemilta mitatun aineiston laatua tarkasteltiin myös vertaamalla Seurasaarella sijaitsevan HEL1-aseman rekisteröintiä pienestä räjäytyksestä pääkaupunkiseudulla (kuva 5) saman tapauksen rekisteröinteihin testipaikoilla (kuvat 6-8). Vertailuun on otettu mukaan vain kunkin aseman pystykomponentti.

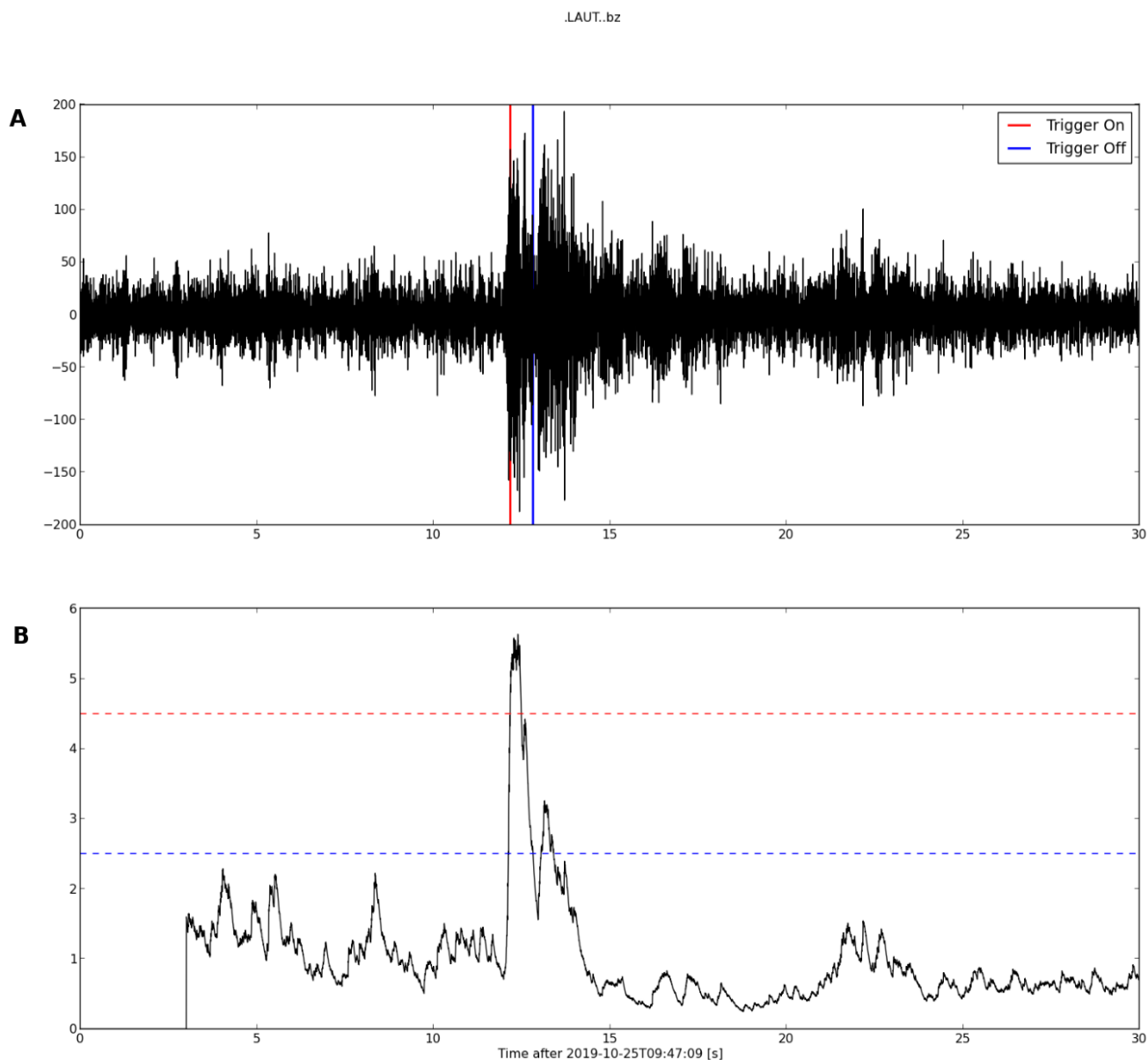


Kuva 5: Suunniteltujen asemapaikkojen aineiston laadun vertailussa käytetyn seismisen tapauksen, pienen räjäytyksen, rekisteröinti Seurasaarella sijaitsevalla HEL1-asemalla.

Figure 5: Recording of a seismic event, a small explosion, at HEL1 station in Seurasaari. This was one of the events used to evaluate the quality of recordings from the HelsinkiNet test measurement sites.

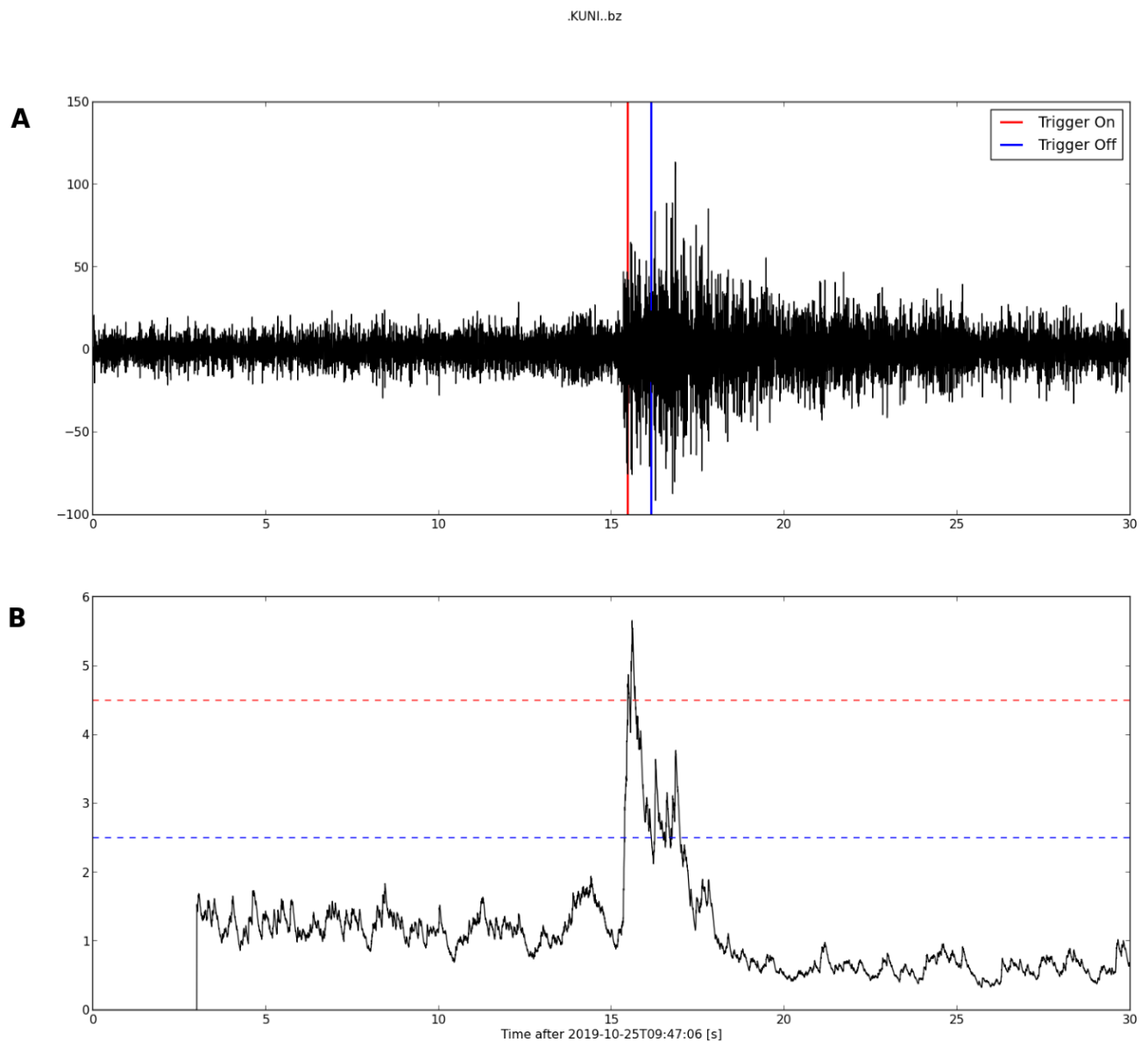
Kuvista 6-8 nähdään, että tapaus näkyy selvästi sekä Lauttasaaren, että Kuninkaantammen asemapaikoilla. Vuosaarella tapaus näkyy heikosti. Räjäytys voidaan tunnistaa automaattisesti Lauttasaaren ja Kuninkaantammen rekisteröinnistä, mutta ei Vuosaaren rekisteröinnistä.

Tehtyjen testimittauksen perusteella Lauttasaaren ja Kuninkaantammen ehdotetut asemapaikat sopivat HelsinkiNet:in pysyvien asemien paikoiksi. Vuosaaren testipaikkaa ei voi suositella seismisille mittauksille ja itäisen Helsingin asemalle tuleekin löytää uusi paikka.



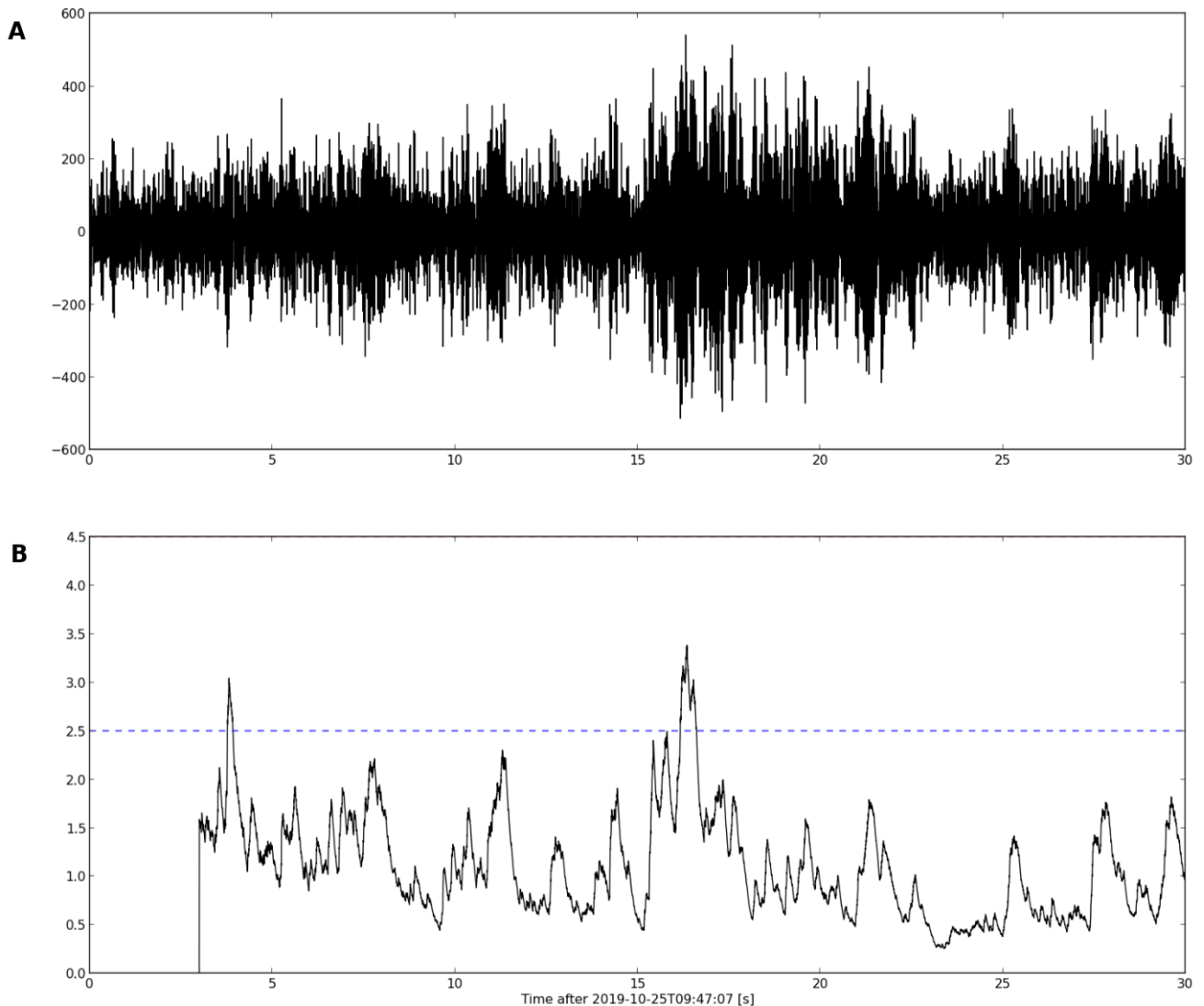
Kuva 6: A) Pienen räjäytyksen rekisteröinti Lauttasaaren suunnitellulla asemapaikalla. B) Automaattidetektorin ominaiskäyrä. Signaali havaitaan automaattisesti, kun ominaiskäyrä ylittää punaisella merkityn kynnysarvon. Kun käyrä laskee sinisellä merkityn arvon alle, detektori alkaa etsiä seuraavaa signaalia.

Figure 6: A) Recording of a small explosion at the Lauttasaari station test site. B) Characteristic function of the automatic detector. A signal will be detected automatically, when the characteristic function surpasses the trigger level marked on red. When the characteristic function passes below the trigger level marked on blue, the detector starts searching for the next signal.



Kuva 7: A) Pienen räjäytyksen rekisteröinti Kuninkaantammen suunnitellulla asemapaikalla. B) Automaattidetektorin ominaiskäyrä. Signaali havaitaan automaattisesti, kun ominaiskäyrä ylittää punaisella merkityn kynnysarvon. Kun käyrä laskee sinisellä merkityn arvon alle, detektori alkaa etsiä seuraavaa signaalia.

Figure 7: A) Recording of a small explosion at the Kuninkaantammi station test site. B) Characteristic function of the automatic detector. A signal will be detected automatically, when the characteristic function surpasses the trigger level marked on red. When the characteristic function passes below the trigger level marked on blue, the detector starts searching for the next signal.



Kuva 8: A) Pienen räjäytyksen rekisteröinti Vuosaaren suunnitellulla asemapaikalla. B) Automaattidetektorin ominaiskäyrä. Signaali havaitaan automaattisesti, kun ominaiskäyrä ylittää punaisella merkityn kynnysarvon. Kun käyrä laskee sinisellä merkityn arvon alle detektori alkaa etsiä seuraavaa signaalia.

Figure 8: A) Recording of a small explosion at the Vuosaari station test site. B) Characteristic function of the automatic detector. A signal will be detected automatically, when the characteristic function surpasses the trigger level marked on red. When the characteristic function passes below the trigger level marked on blue, the detector starts searching for the next signal.

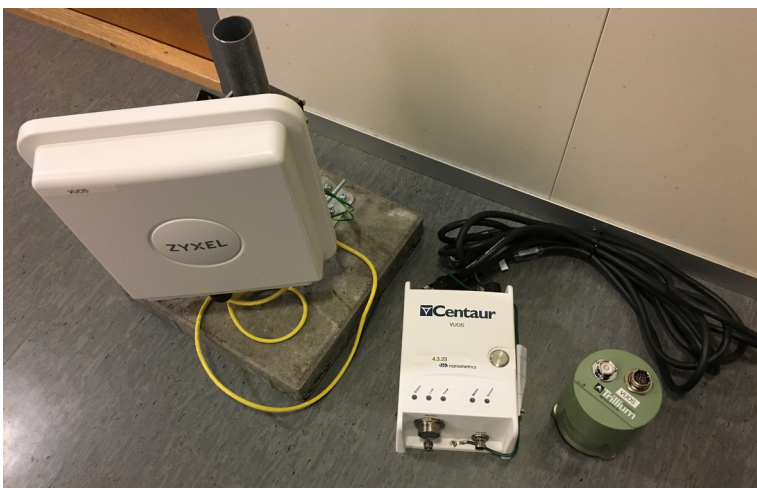
4. Rakennusvaihe ja verkon käyttöönotto 2020

Alkupalvesta 2020 Seismologian instituutti etsii korvaavan paikan Vuosaaren ehdotetulle asemalle ja suorittaa siellä testimittaukset. Kuvassa 9 testimittauslaitteisto Kuninkaantammessa.



Kuva 9: Testimittaus Kuninkaantammen suunnitellulla asemapaikalla.

Figure 9: Test measurement in Kuninkaantammi.



Kuva 10: HelsinkiNet'in laitteistoa. Vasemmalta: Zyxel säänkestävä modeemi, Nanometricsin Centaur-digitoija ja Trillium Compact -anturi.

Figure 10. HelsinkiNet devices. From the left: Zyxel outdoor router, Nanometrix centaur digitizer, and Trillium Compact sensor.

Kuninkaantammen ja Lauttasaaren asemille on suunniteltu kaivonrenkaan sisään rakennettavaa laitesuojaa. Vuosaaren aseman korvaavan paikan vaatimukset saattavat olla erilaiset. Kaikilla suunnitelluilla asemapaikoilla tarvitsee tehdä myös sähkötöitä.

Asemat voidaan asentaa, ja mittaukset aloittaa heti, kun laitesuojat valmistuvat. Kaikki tarvittavat mittauslaitteiston osat ovat valmiina (kuva 10).

5. Seismiset havainnot Seismologian instituutin asemaverkolla vuonna 2019

HelsinkiNet-verkon tavoitteena on havaita ja paikantaa automaattisesti pienetkin seismiset tapaukset Helsingin kaupungin alueelta ja sen lähistöltä. Kansallisen verkon asemien avulla pystytään havaitsemaan kynnysmagnitudia $ML=1,0$ suuremmat tapaukset Helsingin alueella. HelsinkiNetin aloitettua toimintansa pystytään havaitsemana myös pienempiä tapauksia. Tarkemmat havaittujen tapausten kynnysarvot voidaan määrittää, kun verkko on toiminut jonkin aikaa. HelsinkiNet toimii osana kansallista Suomen ja lähialueiden päivittäistä valvontaa (Kortström ym. 2018). Siten mahdollisista voimakkaista seismisistä tapauksista saadaan tieto hyvin nopeasti. Helsingin alueen asemien tuottama aineisto käsitellään Seismologian instituutin maanlaajuisen analyysin lisäksi paikallisen havaitsemis- ja paikannusohjelmiston avulla. Käsittelyn tavoitteena on löytää kansalliselta valvonnalta havaitsematta jääneitä tapauksia Helsingistä ja sen lähistöltä.

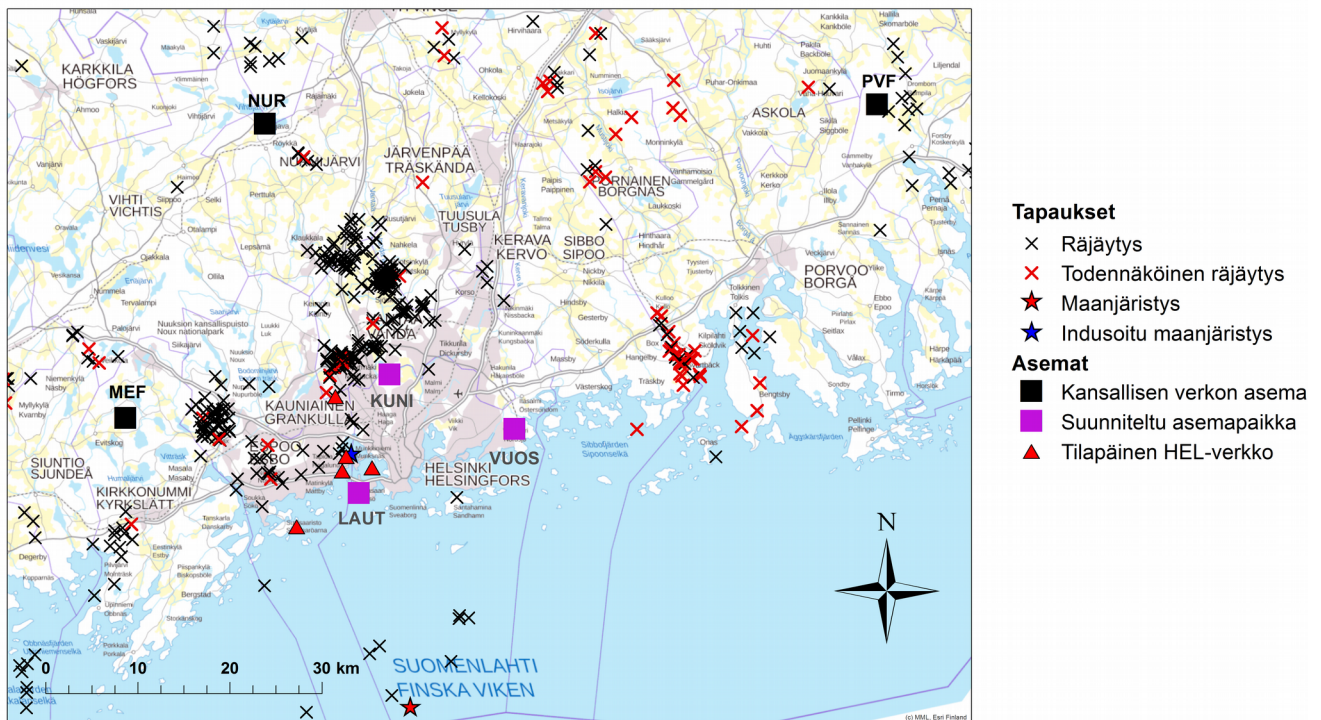
Erilaisilla havaitsemismenetelmillä löydetty tapaukset tunnistetaan ja luokitellaan rekisteröinnin muodon sekä taajuussisällön perusteella automaattisesti (Kortström ym. 2016). Tapausten automaattiset paikannus- ja luokittelutulokset arkistoidaan jatkokäyttöä varten. Päivittäisanalyysin yhteydessä maanjäristysten tai muuten merkittävien tapausten seismisten aaltojen tuloajat luetaan uudelleen seismogrammeista, ja näiden tuloaikojen avulla määritetään lähdetiedot eli tapahtuma-aika ja -paikka, voimakkuus ja syvyys.

Koko Suomi on seismisesti matalan riskin aluetta. Helsinki ei ole lähellä Suomen seismisesti aktiivisimpia alueita, jotka sijaitsevat Tornionjokilaaksossa, Kuusamossa ja Viipurin rapakivialueella (Korja ja Kosonen, 2015). Vuonna 2019 Helsingin lähistöllä kansallisen seismisen verkon havainnoista raportoidut tapaukset näkyvät kuvassa 11. Korkeintaan 25:n kilometrin etäisyydellä Rautatientorilta analysoitiin 299 räjäytystä sekä yksi maanjäristys ja yksi indusoitu maanjäristys (ts. ihmisen toiminnasta aiheutunut maanjäristys). Taustatietoa pääkaupunkiseudun seismisyydestä pitemmällä aikavälillä löytyy liitteestä 1.

9.7.2019 klo 20:26 Suomen aikaa tapahtui Helsingin majakan läheisyydessä (59.952°N , 24.967°E) pieni, magnitudin 0,9 maanjäristys. Tarkempi analyysi löytyy liitteestä 2.1. Järityksestä ei tullut tuntuvuushavaintoja, kuten voikin odottaa kyseisen kokoiselta maanjäristykseltä yli 20:n kilometrin päässä rannasta.

9.5.2019 klo 04:05 Suomen aikaa tapahtui Otaniemen geotermisen voimalan porareian lähellä (60.191°N , 24.841°E) pieni, magnitudin 0,6 indusoitu maanjäristys. Tarkempi analyysi löytyy liitteestä 2.2. Tapauksesta ei tullut tuntuvuushavaintoja. Aiemmin niitä on tullut pienemmistäkin Otaniemen geotermisen voimalan rakennustöihin liittyvistä seismisistä tapauksista.

Räjäytykset ovat pääosin lähiseudun louhoksilta tai isoilta työmailta. Iso osa räjäytyksistä on automaattipaikannettuja, vain niiden luokittelu on tarkistettu käsin. Automaattipaikannuksen virhe saattaa olla useita kilometrejä. Käsin paikannettujen tapausten paikannustarkkuus riippuu tapauksen koosta ja asemien mittaustulosten saatavuudesta. Yleensä se on alle kilometrin ja parhaimmillaan kymmenien metrien luokkaa.



Kuva 11: Seismologian instituutin raportoimat seismiset tapaukset Helsingissä ja sen lähialueilla vuonna 2019.

Figure 11: Seismic events in 2019 in Helsinki and nearby areas, reported by the Institute of Seismology.

Todennäköinen räjäytys tarkoittaa automaattiluokitteluohjelman räjäytykseksi määrittelemää, tunnetulta räjäytyspaikalta, tunnettuun räjäytysaikaan tulevaa tapausta. Näitä ei tarkisteta käsin ja siksi ne luokitellaan todennäköisiksi. Mukana on myös muutamia epäselviä tapauksia, joihin vielä palataan, kun seismiset tapaukset myöhemmin kootaan vuosittaista raportointia varten.

Seismologian instituutti on havainnut räjäytyksiä lähialueilta enemmän kuin kartalla näkyy. Kaikkia selkeitä, pieniä räjäytyksiä ei paikanneta, vaan ne merkitään tilastotapauksiksi ja silloin ne eivät näy kartalla.

Kuvasta 11 näkyy, että nykyisellä asemaverkolla havaitaan tapauksia enemmän Espoosta ja Vantaalta kuin Helsingistä. Osittain tämä johtuu louhosten sijainnista, mutta myös siitä, että Helsinkiin ei ole rakennettu kansallisen verkon pysyviä asemia Suomen ensimmäisen, 1924 Siltavuoreen rakennetun seismisen aseman jälkeen. Siltavuoreen asennetut Maininka-seismografit eivät mittaustajuuudeltaan soveltuneet lähitapausten rekisteröintiin, vaan niillä havaittiin voimakkaiden kaukojäristysten seismisiä aaltoja. Suomi pääsi mukaan alan kansainväliseen havaintotoimintaan. Siltavuoren laitteistot purettiin 60-luvulla. Uudemmat ja herkemmät mittalaitteet on asennettu kauemmas kaupungin häiriöistä.

Seismologian instituutti saa aineistoa myös Viron seismologisilta asemilta, mutta ne sijaitsevat kaukana Helsingistä. Lisäksi kallioperä muuttuu etelään mentäessä sedimenteiksi, joissa seisminen

signaali vaimenee huomattavasti nopeammin kuin Suomen kiteisessä kallioperässä. HelsinkiNet:in asemat tulevat parantamaan Helsingissä tapahtuvien seismisten tapausten havaintokynnystä ja paikannustarkkuutta huomattavasti.

Lähteet

Gregersen, S., P. Wiejacz, W. Dębski, B. Domanski, B. Assinovskaya, B. Guterch, P. Mäntyniemi, V. G. Nikulin, A. Pacesa, V. Puura, A.G. Aronov, T.I. Aronova, G. Grünthal, E.S. Husebye, and S. Sliupa, 2007. The exceptional earthquakes in Kaliningrad district, Russia on September 21, 2004, *Physics of the Earth and Planetary Interiors* 164:63-74. doi: 10.1016/j.pepi.2007.06.005

Hillers, G., T. A. T. Vuorinen, M. R. Uski, J. T. Kortström, P. B. Mäntyniemi, T. Tiira, P. E. Malin, and T. Saarno, 2020. The 2018 geothermal reservoir stimulation in Espoo/Helsinki, southern Finland: Seismic network anatomy and data features, *Seismological Research Letters*, doi: 10.1785/0220190253

Korja, A., and E. Kosonen (Eds.), 2015. Seismotectonic framework and seismic source area models in Fennoscandia, Northern Europe, Report S-63, Institute of Seismology, University of Helsinki, Helsinki, 284pp.

Kortström, J., M. Uski, and K. Oinonen, 2018. The Finnish National Seismic Network, *Summ. Bull. Internatl. Seismol. Cent.*, January - June 2015, 52 (I), pp. 41–52, Thatcham, United Kingdom.

Kortström, J., M. Uski, and T. Tiira, 2016. Automatic classification of seismic events within a regional seismograph network, *Computers & Geosciences* 87:22-30.

McNamara, D. E. and R. Buland, 2004. Ambient Noise levels in the Continental United States, *Bulletin of the Seismological Society of America* 94(4):1517-1527.

Nikonov, A. A., 2002. The Osmussaar earthquake of October 25, 1976: Macroseismic analysis, seismotectonics, and focal mechanism, *Izvestiya, Physics of the Solid Earth* 38(8):690-703.

Sanomalehdistö

Helsingfors Tidningar 24.1.1829

Helsingin Sanomat 26.10.1976

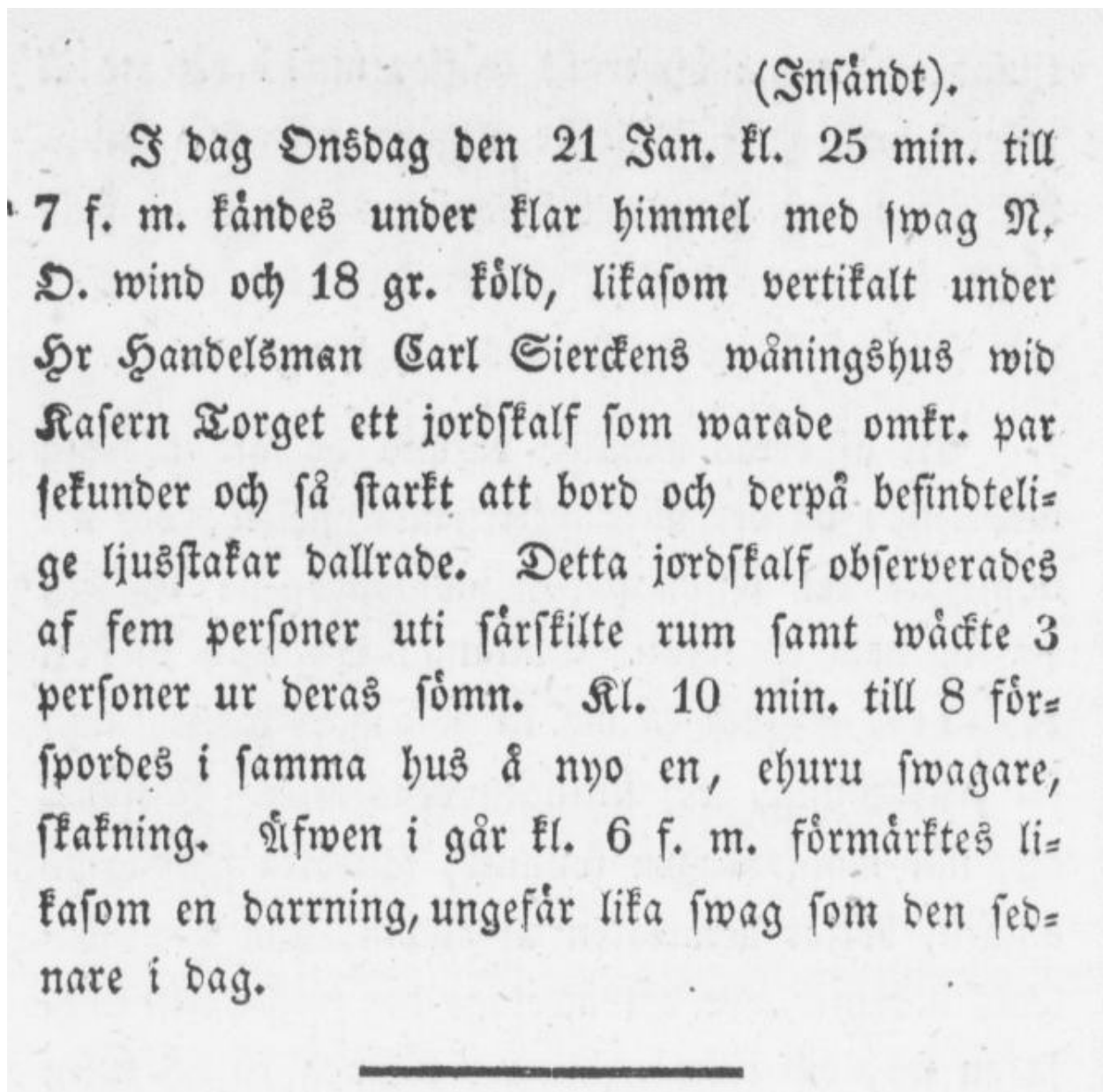
Hufvudstadsbladet 28.10.1904, 26.10.1976

Uusi Suomi 26.10.1976

Sydsvenskan 21.9.2004 (<https://www.sydsvenskan.se/2004-09-21/jordskalv-skakade-skane>)

Liitteet

Liite 1. Pääkaupunkiseudun seismisyydestä ja maanjäristysten havaitsemisesta siellä



Kuva L1.1: Helsingfors Tidningar 24.1.1829

Figure L1.1: Description of a possible earthquake in Helsingfors Tidningar 24.1.1829.

Helsinkiä eivät ole koettelleet tuhoisat maanjäristykset sen historian aikana. Pääkaupungin alueelta on raportoitu vain pieniä maanjäristyksiä. Vanhoina aikoina havaintojen muistiinmerkitseminen oli paljon asukkaiden kirjallisten taitojen ja harrastuneisuuden varassa. Tammikuussa 1829 *Helsingfors Tidningar* -sanomalehdessä kerrottiin, että Kasarmitorin laidalla oli havaittu maanjäristyksiä (kuva L1.1). Kolme nukkuja oli herännyt, ja pöydällä olivat kynttilänjalat tärisseet. Yhdessä paikassa huomattun tapahtuman perimmäinen luonne jää varmentamatta ilman mittauslaitteita.

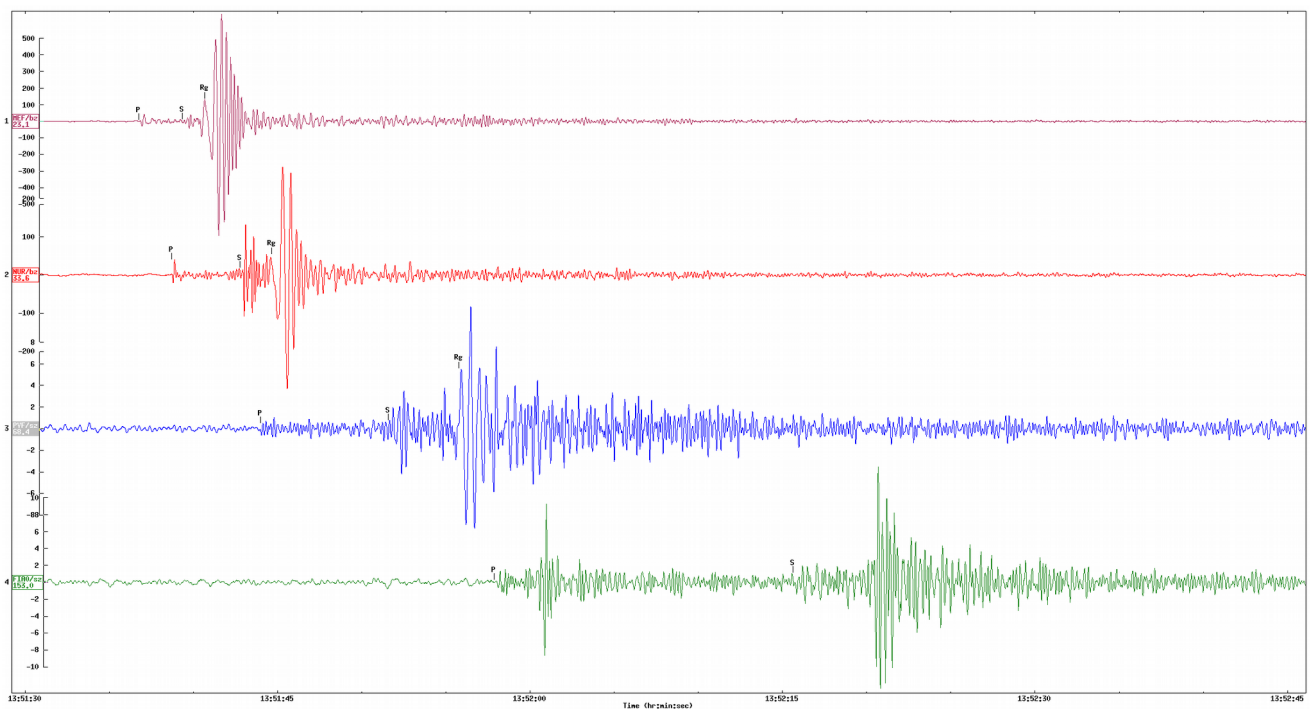
Laiteaikana kerätyt tiedot vahvistavat käsitystä pääkaupungin matalasta seismisyydestä. Kaupungin alueella rekisteröidään maanjäristyksiä hyvin harvoin. Pienten maanjäristysten havaitseminen vaatii kuitenkin tiheän asemaverkon, mikä haastaa havaintokynnyksen määrittämistä. Tiedetään myös, että kaupungin rajojen ulkopuolella sattuneet maanjäristykset voivat tuntua Helsingissä. Laajalahden magnitudin $M_L 1,7$ maanjäristys ilmapäivällä 3. helmikuuta 2013 raportoitiin useasta paikasta paitsi Espoosta myös Helsingistä (kuva L1.2). Mikromaanjäristyksen ($M < 2$) havaitseminen näinkin laajalti kertoo seismisen energian hitaasta vaimenemisesta Fennoskandian kilpialueella.



Kuva L1.2: Laajalahden maanjäristykset 3. (magnitudi $M_L 1,7$) ja 4. ($M_L 1,3$) helmikuuta 2013 (ruskeat symbolit). Numeroidut siniset symbolit näyttävät tuntuuushavaintojen paikat. Jälkimmäiseen maanjäristykseen liittyi vain yksi tuntuuushavainto Otaniemestä (kuvassa 'makro2').

Kuva L1.2: Laajalahti earthquakes February 3rd (magnitude $M_L 1,7$) and 4th (magnitudi $M_L 1,3$) 2013 (brown symbols). Numbered blue symbols show the locations for the felt reports. The latter earthquake was associated with only one felt report from Otaniemi (marked with 'makro2' text).

Maanjäristysten synnyttämien seismisten aaltojen taajuusalue voi ulottua ihmisten kuuloalueelle. Etenkin järjestyskeskuksesta nopeimmin etenevä P-aalto voi pikemmin kuulua kuin tuntua (P- ja S-aallot ovat nk. runkoaaltoja, R-aallot maanpinnassa eteneviä loukkuun jääneitä runkoaaltoja; kuva L1.3). Pieni maanjäristys voi siksi olla suhteellisen meluisa ja varsinkin yöllä sattuessaan herättää ärtymistä, jopa pelkoa. Ylipäänsä maanjäristykset voivat äkkinäisyydessään ja ennakoimattomuudessaan olla epämiellyttäviä havaitsijan kannalta, vaikka niistä ei mitään vahinkoa seuraisikaan.



Kuva L1.3: Laajalahden maanjäristyksen rekisteröintejä Suomen seismografiasemilla 3. helmikuuta 2013 (asemat ylhäältä alas MEF: Metsähovi, NUR: Nurmijärvi, PVF: Pernaja, FIAO: Sysmä).

Figure L1.3: Some recordings of the Laajalahti earthquake (ML1,7) February 3rd 2013. Stations are from the Finnish National Seismic network, from the top down: MEF: Metsähovi, NUR: Nurmijärvi, PVF: Pernaja, FIAO: Sysmä.

Mäntsälässä 19. maaliskuuta 2011 sattunut magnitudin $M_{L2,6}$ maanjäristys huomattiin laajalti Uudellamaalla jopa 50 kilometrin säteellä järjestyskeskuksesta. Seismologian instituutti sai siitä 800 havaintoilmoitusta. Maanjäristys liittyi läntisellä Uudellamaalla kulkevaan pitkään siirrokseen. Mäntsälästä tiedetään maanjäristysilmoitus myös vuodelta 1887. Mahdollinen tulkinta on, että siirroksessa esiintyy seismistä aktiivisuutta, joka ilmenee harvakseltaan. Sen suurimman mahdollisen magnitudin arvioimiseen liittyy paljon epävarmuuksia.

Toinen Mäntsälän maanjäristykseen liittynyt merkillepantava seikka oli ajankohta: se sattui kahdeksan päivää Fukushima ydinreaktoreita rikkoneen Tōhokun maanjäristyksen ($M_{9,2}$) jälkeen.

Katastrofin saama huomio uutisissa vaikutti joidenkin pääkaupunkiseudun asukkaiden mielialoihin ja reaktioihin Mäntsälän tapauksen jälkeen, vaikka tapahtumat olivat maantieteellisesti kaukana toisistaan ja luonnonilmiöinä aivan eri kokoluokkaa. Voisi ajatella, että samanaikaisuus toisen tapahtuman kanssa voi lisätä paikallisen maanjäristyksen herättämää huomiota.

— Jordskalvet observeradt i Helsingfors. Enligt oss meddelad uppgift observerade man senaste söndag samma tid på dagen då jordskalvet iaktogs i Riihimäki, Åbo m. fl. orter, äfven härstädes en yttring af detsamma. I en gård vid norra sidan af salutorget kände en person huru golfvet i det rum, där hon befann sig, rörde sig och huru dörrportiererna i samma rum likaså råkade i en gungande rörelse.

Kuva L1.4: Hufvudstadsbladet 28.10.1904

Figure L1.4: Earthquake felt observations in Hufvudstadsbladet 28.10.1904.

Helsingissä tuntuneet maanjäristykset eivät ole jääneet pelkästään pienten magnitudien alueelle. Ruotsin rajan tuntumassa Oslonvuonosta kaakkoon sattui 23. lokakuuta 1904 magnitudin $M_{s5,4}$ maanjäristys. Se tuntui laajalla alueella Fennoskandiassa. Keinuvaa maanliikettä pantiin merkille yläkerroksissa etenkin Varsinais-Suomessa ja Kanta-Hämeessä. Helsingistä on saatavilla yksi havainto Kauppatorin pohjoislaidalta (kuva L1.4). Lännestä saapui seismistä energiaa myös 15. syyskuuta 2014, kun Keski-Ruotsissa tärähti magnitudin 3,9 verran. Pääkaupunkiseudulta tapaus raportoitiin Vantaalta ja Kampista Helsingistä.

Lokakuun 25. päivä 1976 Osmussaarella Luoteis-Virossa sattui magnitudin $M_{4,6}$ maanjäristys. Maanjäristys huomattiin laajalti Suomenlahden kahta puolta (kuva L1.5). Järistyskeskus sijaitsi rajavyöhykkeellä Neuvostoliiton laivasto- ja sotilastukikohdan lähellä, eivätkä seismologit päässeet Osmussaarelle selvittämään mahdollisia näkyviä merkkejä järistyksestä välittömästi sen jälkeen.

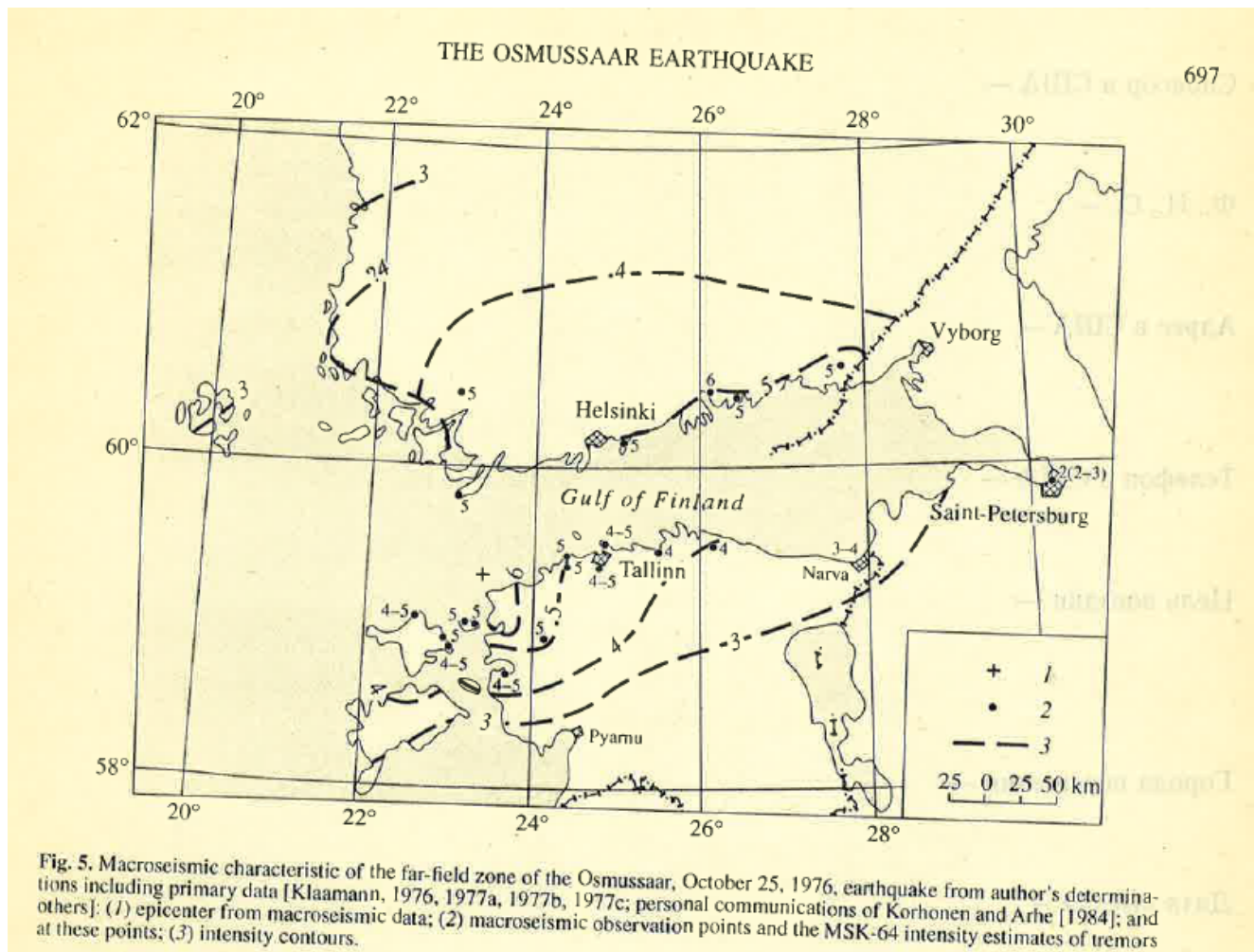
Suomessa maanliikettä pantiin merkille Poria, Turkua, Tamperetta ja Lappeenrantaa myöten. Tavanomaisia seurauksia olivat ikkunoiden tärinä, astioiden helinä ja huonekalujen liikkuminen paikoiltaan.

Seismologit kuvaavat järistysvaikutusten voimakkuutta eri paikoissa nk. makroseismisen intensiteetin avulla. Se annetaan kokonaislukuna 12-portaisella asteikolla: mitä suurempi luku, sitä voimakkaammat vaikutukset. Osmussaaren järistyksestä Suomessa tehdyt havainnot olivat enimmillään tasoa 4 (laajalti havaittu maantärinä) ja 5 (voimakas maantärinä).

Järistyskeskus sijaitsi noin 140 kilometrin päässä Helsingistä. Vuosaarella maantärinä tuntui erityisen voimakkaasti. Esimerkiksi erään toimistotalon toisessa kerroksessa ovet lennähtivät selälleen. Lauttasaarella tuntui kuin höyryveturi kulkisi ohitse, ja kukkaruukut hypähtivät paikoillaan. Katajanokalla tärisivät ikkunaruudut ja Kaivopuistossa putoili tauluja seiniltä (Hufvudstadsbladet 26.10.1976)

Harvinainen ilmiö aiheutti paljon hämminkiä. Ruotsin puolustusvoimien tutkimuslaitoksella sitä epäiltiin aluksi vedenalaiseksi ydinkokeeksi (Helsingin Sanomat, Uusi Suomi 26.10.1976). Säteilyturvakeskus lähetti Suomen etelärannikolle varmuuden vuoksi kaksi säteilymittausautoa,

mutta kohonneita säteilyarvoja ei rekisteröity. Tapahtumasta liikkui paljon huhuja myös Neuvosto-Virossa. Seismografien ansiosta tapauksen luonne maanjäristyksenä voitiin varmentaa.

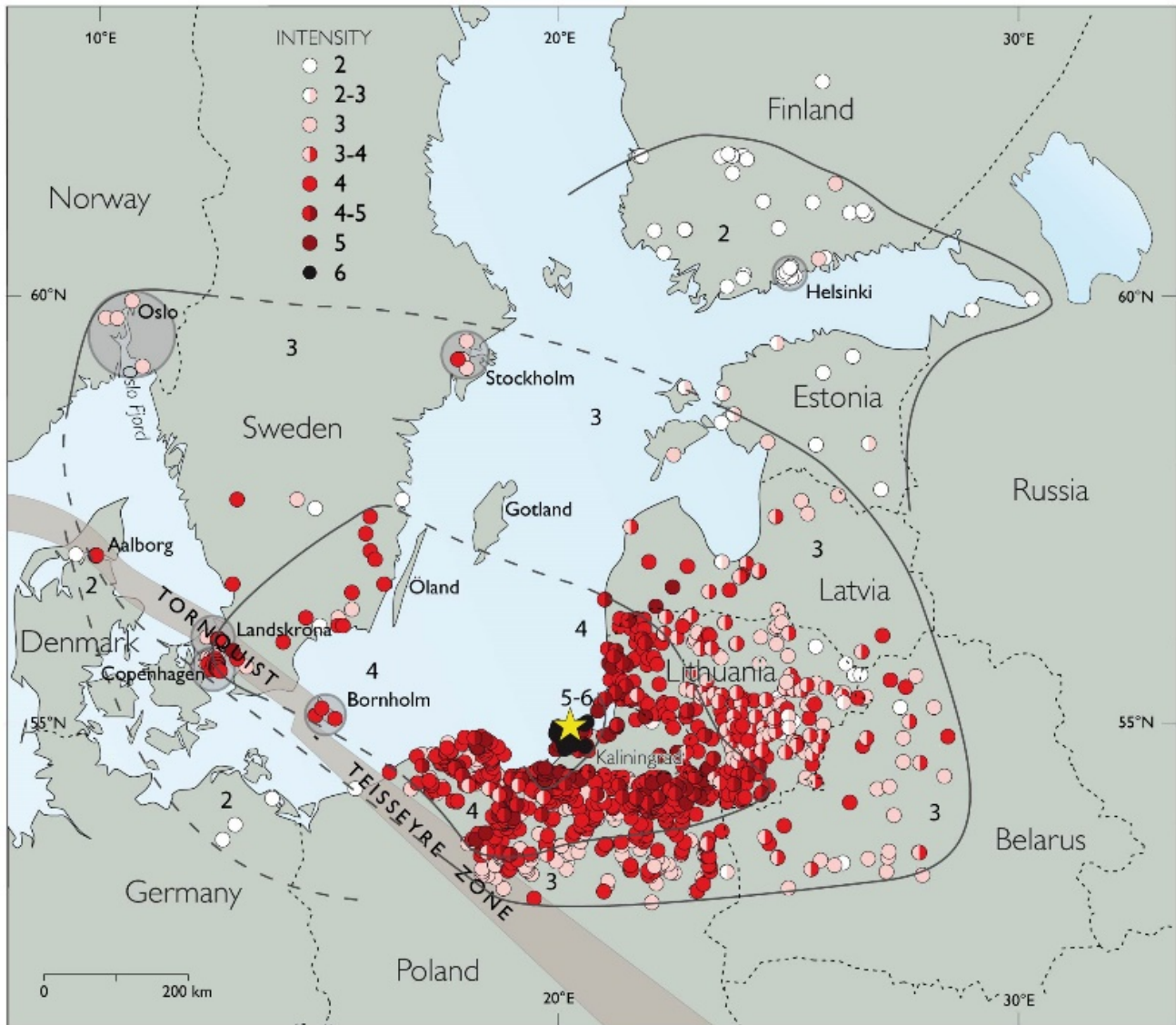


Kuva L1.5: Kuva L1.5: Osmussaaren maanjäristyksen tuntuvuusalue makroseismisen intensiteetin tasa-arvokäyrien avulla esitettyinä (Lähde: Nikonov, 2002). Risti näyttää Osmussaaren sijainnin.

Figure L1.5: The area of perceptibility of the Osmussaare earthquake with the help of isoseismals (From Nikonov, 2002). The cross shows the location of Osmussaare.

Kaliningradissa Venäjän hallinnoimalla erillisalueella sattui yllättäviä maanjäristyksiä 21. syyskuuta 2004 (kuva L1.6). Niistä suurimman magnitudi oli M5,2. Se havaittiin monin paikoin Etelä-Suomessa, myös Helsingissä yläkerroksissa esimerkiksi Itäkeskuksessa ja Merihaassa.

Osmussaaren ja Kaliningradin maanjäristykset haastavat seismologien laajalti hyväksymän mallin magnitudien ja järistysten lukumäärien välisestä suhteesta, jonka mukaan pieniä maanjäristyksiä sattuu taajaan, suuria harvakseltaan. Baltian alueella tulisi mallin mukaan sattua pieniä maanjäristyksiä paljon havaittua useammin; kyse ei ole ainoastaan mittausasemien harvalukuisuudesta.



Kuva L1.6: Maanjäristys Kaliningradissa 21. syyskuuta 2004 (Mw5.2): tuntuvuusalue seismisten intensiteettien avulla esitettyä. Keltainen tähti merkitsee järityksen keskusta. Kuva Gregersen ym. (2007)

Kuva L1.6: Felt area of the Kaliningrad September 21st 2004 earthquake using intensity data points. Yellow star marks the epicenter. Figure from Gregersen et al (2007).

Ennennäkemätön teknologia tuo ennennäkemättömiä seurauksia. Maalämpövoimalat nostavat pienten maanjäristysten lukumäärää, kun jännitysolosuhteet muuttuvat maankamarassa. Kesällä 2018 Otaniemen voimalan stimulointivaihe tuotti lukuisia maanjäristyksiä, joiden magnitudit olivat enimmillään tasoa ML~1,8. Paikalliset asukkaat myös Helsingissä tekivät niistä paljon havaintoja (Hillers ym. 2020).

Rakennetun ympäristön voimakas muutos merkitsee, että maanjäristyksiä saatetaan vastaisuudessa havaita Helsingissä ja muualla pääkaupunkiseudulla entistä pidemmiltä etäisyyksiltä. Tästä on paljon kokemusta muualta maailmalta: voimakkaat ja syvät maanjäristykset huojuttavat tornitaloja pitkien matkojen päässä. Kaliningradin maanjäristys (jonka magnitudi M5,2, on maailman mittakaavassa

pienehkö) laukaisi palohälyttimen Landskronan kaupungintalossa Etelä-Ruotsissa yli 460 kilometrin päässä. Rakennuksen voimakas huojunta johti kolmensadan ihmisen evakuointiin. Jokunen kokous siirtyi seuraavalle päivälle, mutta mitään pysyvää haittaa ei aiheutunut (verkkolehti Sydsvenskan 21.9.2004). Äärimmäisessä tapauksessa, mikäli maanliike tuntuisi huolestuttavan ikävästi, jonkinlaisia paniikkireaktioita saattaisi syntyä evakuoinnissa ja paikoissa, joissa on paljon ihmisiä suhteellisen suljetussa tilassa (koululuokka, ostoskeskus, tms.).

Romaniassa Karpaattien vuorijonon mutkan alapuolella on 90-120 kilometrin syvyydessä erikoinen, suuria maanjäristyksiä ($M > 7$) tuottava alue, Vrancea. Bukarest on toistuvasti kärsinyt näiden Vrancean maanjäristysten aiheuttamista tuhoista historiansa aikana. Seuraava voimakas Vrancean maanjäristys tuntuu hyvin todennäköisesti Helsingissäkin. Täyttömailla vaikutukset voivat tuntua erittäin selvästi.

Liite 2. Vuoden 2019 seismisten tapausten analyysi

Liite 2.1 Suomenlahden 9.7.2019 järityksen paikannustulos Nordic-formaatissa

Nordic-formaatin kuvaus: https://www.seismo.helsinki.fi/bulletin/list/nordic_format.html

```

2019 0709 1726 16.6 LQ 59.952 24.967 3.9 HEL 21 0.2 0.9LHEL 1
GAP= 70 0.0 0.200 0.344 0.6 0.1 5
CSS:2019190172516.WFDISC 6
PROBABLY EARTHQUAKE, GULF OF FINLAND, FINLAND 3
STAT SP IPHASW D HRMM SECON CODA AMPLIT PERI AZIMU VELO SNR AR TRES W DIS CAZ7
HEL5 BZ EP 1726 20.36 0.110 22 325
HEL5 BZ ES 1726 23.02 0.1 5
HEL1 BZ EP 1726 20.75 -0.010 26 349
HEL1 BZ ES 1726 23.84 0.1 5
HEL3 BZ EP 1726 20.82 -0.010 26 342
HEL3 BZ ES 1726 23.94 0.1 5
HEL2 BZ EP 1726 21.08 0.010 27 344
HEL2 BZ ES 1726 24.33 0.1 5
HEL4 BZ EP 1726 22.14 0.010 34 345
HEL4 BZ ES 1726 26.11 0.1 5
MEF BZ EP 1726 23.63 -0.010 44 313
MEF BN ES 1726 28.36 -0.3 4
NUR SZ EP 1726 26.75 -0.3 8 65 344
NUR SZ ES 1726 34.41 -0.1 5
ARBE HH ES 1726 39.50 0.5 2 81 135
PVF BZ EP 1726 29.72 -0.2 8 83 36
PVF BN ES 1726 38.92 -0.5 1
EE02 BZ EP 1726 30.64 0.1 9 86 190
EE02 BZ ES 1726 40.46 0.0 4
TVF BN EP 1726 32.18 -0.1 9 97 264
TVF BN ES 1726 42.98 -0.4 2
EE01 BZ EP 1726 35.08 0.3 7 113 223
EE01 BZ ES 1726 47.54 -0.2 4
EE03 BZ ES 1726 55.42 -0.2 4 141 148
EE08 BZ ES 1726 56.98 0.2 4 145 174
VJF BZ ES 1726 60.00 -0.1 3 158 64
FIA0 SZ EP 1726 44.87 0.2 7 177 19
FIA0 SZ ES 1727 5.04 -0.1 4
FIA0 SZ MSG 1727 6.95 0.71 0.10
VSU HH ES 1727 9.33 -0.3 3 195 148
RAF BZ ES 1727 14.53 0.2 0 213 305
RAF BZ MSG 1727 18.55 0.75 0.11
KEF BZ ES 1727 22.58 0.9 3 247 359
KEF BZ MSG 1727 26.71 0.37 0.08
KAF BZ ES 1727 22.85 0.2 0 252 16
KAF BZ MSG 1727 28.53 0.50 0.13
KPF BZ MSG 1727 29.19 0.25 0.09 262 324
RUF BZ MSG 1727 33.08 0.42 0.10 273 51
SLIT HH ES 1727 32.57 -0.2 0 299 212

```

Liite 2.2 Otaniemen indusoidun 9.5.2019 järityksen paikannustulos Nordic-formaatissa

Nordic-formaatin kuvaus: https://www.seismo.helsinki.fi/bulletin/list/nordic_format.html

```

2019 0509 0105 33.7 LI 60.191 24.841 5.8 HEL 7 0.0 0.6LHEL 1
GAP=141 0.0 0.055 0.084 0.1 0.3 5
CSS:2019129010433.WFDISC 6
INDUCED SEISMIC EVENT, OTANIEMI, ESP00, FINLAND 3
STAT SP IPHASW D HRMM SECON CODA AMPLIT PERI AZIMU VELO SNR AR TRES W DIS CAZ7
HEL2 BZ EP 1 5 34.68 0.0 9 1 232
HEL2 BN ES 1 5 35.35 0.0 4
HEL2 BZ MSG 1 5 35.45 5.76 0.02
HEL3 BZ EP 1 5 34.70 -0.0 4 2 205
HEL3 BN ES 1 5 35.41 -0.010
HEL3 BZ MSG 1 5 35.54 18.35 0.03
HEL1 BZ EP 1 5 34.76 0.010 3 125
HEL1 BZ ES 1 5 35.48 -0.010
HEL1 BZ MSG 1 5 35.58 51.12 0.04
HEL4 BZ EP 1 5 35.11 0.0 9 6 342
HEL4 BZ MSG 1 5 36.22 43.05 0.02
HEL5 BZ EP 1 5 35.60 0.0 9 10 215
HEL5 BN ES 1 5 36.93 0.0 0
HEL5 BZ MSG 1 5 36.98 14.94 0.02
MEF BZ EP 1 5 37.84 -0.0 0 25 277
MEF BZ ES 1 5 40.67 -0.1 0
MEF BZ MSG 1 5 41.00 1.39 0.04
NUR SZ EP 1 5 39.77 0.0 0 37 343
NUR SZ ES 1 5 43.80 -0.3 0
NUR SZ MSG 1 5 44.20 1.50 0.03

```



T-101

ISSN 0781-9579

ISBN 978-952-10-9599-3

<https://helda.helsinki.fi/handle/1018/164167>